© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Ektomykorrhizen und Feinwurzeln von Testpflanzen der Fichte als Indikator für Standortsqualität und Verjüngungspotential in Waldschadensgebieten

F. GÖBL

Abstract:

In the course of projects dealing with forest damage, non mycorrhizal one year old test plants of spruce (HIKO culture system) are used for the determination of the mycorrhization potential of soils and for comparison over a large area. The objectives of these studies are to describe the effects of anthropogenic stress factors to indigenous seedlings and afforestated plants. Test plants are harvested after a period of 20 weeks and both fine roots and mycorrhizae are analyzed, regarding frequency, vitality, abnormal features and diversity of mycorrhizae. Judging from these criteria, the investigated sites show specific characteristics as well as unfavorable and instable conditions.

Einleitung

Die Ektomykorrhiza (EMC)- und Feinwurzel (FW) - Ausbildung von jungen Forstpflanzen wird von der am Standort vorhandenen EMC-bildenden Pilzpopulation und von den Eigenschaften des Standortes, vor allem durch die Struktur des Bodens, geprägt und von Bodenfeuchte und Bodentemperatur beeinflußt (HUSTED et al. 1989).

EMC reagieren empfindlich auf Milieuveränderungen (BERGMANN 1963) oder übermäßige Zufuhr von Nährstoffen, zum Beispiel Stickstoff (BJÖRKMAN 1942, MEYER 1962 u.a.). Ihre Schädigung im Zusammenhang mit Einträgen verschiedener Schadstoffe im frühen Stadium der Pflanzenentwicklung kann zu vielfältigen Funktionsstörungen führen und sowohl für die Naturverjüngung (GEHRMANN et al. 1983, GÖBL 1990) als auch für die Weiterentwicklung von Pflanzungen von großem praktischen Interesse sein.

Unter Versuchsbedingungen konnten an Jungpflanzen die Folgeschäden bestimmter Schadstoffe und Schadstoffkonzentrationen nachgewiesen werden (WEISS et al. 1986, SCHAFER et al. 1985, STROO et al. 1985, MCQATTIE et al. 1992, BLASCHKE 1990).

Die Darstellung von Ausbildung und Schädigung der EMC und FW an Jungpflanzen von unterschiedlichen, natürlichen Waldstandorten erfordert eine standardisierte, einfach anzuwendende Methode, die Vergleiche ermöglicht und zudem Hinweise auf den Entwicklungstrend von natürlicher und künstlicher Verjüngung gibt (GÖBL 1990).

Das HIKO Anzuchtsystem der Fa. LICHTENSTEIN HILLESHÖG Forstpflanzen Ges.m.b.H. (RAMSAUER 1987, RABL 1993) ermöglicht dieses Versuchskonzept durch die Produktion von 1-jährigen, nicht mykorrhizierten Fichtensämlingen mit gleichmäßiger Sproß- und Wurzelentwicklung. Anzucht und Lieferung können auf Versuchstermine abgestimmt werden. Durch Wahl bestimmter Substrate erfolgt zwar eine gute Durchwurzelung des zapfenähnlichen Containers, jedoch unterbleibt die Mykorrhizierung. Dadurch wird vermieden, daß standortsfremde EMC in Böden der Versuchsstandorte eingebracht werden, wie dies bei Pflanzenmaterial aus Anzuchtgärten, deren Böden spezifische EMC-bildende Pilzpopulationen enthalten, der Fall wäre.

Standortsfremde EMC-bildende Pilze können an Aufforstungsstandorten unterschiedliche Veränderungen von Degeneration bis zu guter Entwicklung erfahren (BAAR 1995, GÖBL 1980) und dadurch eine Beurteilung der natürlichen Mykorrhizierung erschweren.

Das HIKO Pflanzverfahren mit einem speziellen Pflanz-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

gerät gewährleistet den unmittelbaren Bodenkontakt des Wurzelballens. Im Gegensatz zur „ingrowth core" Technik (PERSSON 1978) wird durch die Anwendung von Testpflanzen sowohl die Darstellung der FW Entwicklung am ungestörten Standort als auch der EMC Bildung durch einzelne oder verschiedene Pilzspezies der natürlichen EMC-bildenden Pilzpopulation ermöglicht.

Im folgenden wird über einige Versuche mit den beschriebenen Testpflanzen berichtet, die im Rahmen von Forschungsprojekten der FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT in österreichischen Waldschadensgebieten durchgeführt wurden.

Material und Methode

Die Versuchsstandorte

Die Versuchsstandorte liegen im Bereich des Böhmerwaldes (Oberösterreich), des Gleingraben (Steiermark) und am Gaisberg (Salzburg). Sie wurden als Beispiele gewählt, da sie sich sowohl durch Höhenlage, Grundgestein und Bodenbildung als auch durch die Art der Schadstoffeinträge unterscheiden. Sie liegen in jedem Fall in Fichtenbeständen, welche die für das Waldschadensgebiet typischen, sichtbaren Schäden im Kronenbereich aufweisen und für welche bereits umfangreiche Untersuchungen für EMC und FW vorliegen (GÖBL 1989, 1990, 1993).

Abb. 1: Mykorrhiza mit gut ausgebildetem, vielschichtigen Pilzmantel.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 2: Mykorrhiza mit reduzierter Pilzkomponente und Wurzelhaaren.

Versuchsanlage und -Auswertung

An jedem der insgesamt 8 Standorte wurden zwischen 100 und 200 1-jährige, nach dem HIKO-System angezogene Fichtensämlinge geeigneter Herkunft in den Boden eingebracht und durch Zäunung vor Wildverbiß gesichert.

Herkünfte der Versuchspflanzen:

Böhmerwald: Heidenreichstein IV / 1 / 4-900
Gleingraben: Göss I / 6 / 9-14
Gaisberg: Liezen I / 5-900

Es wurden durchwegs Flächen ohne oder mit sehr geringer Bedeckung durch Bodenvegetation gewählt, um deren Wurzelkonkurrenz auszuschalten. Der enge Pflanzverband von 25 mal 25 cm ermöglicht Hinweise bezüglich der kleinflächigen Verteilung von EMC und deren Schäden.

Die Anlage der Versuche erfolgte zwischen 15. und 30. Mai. Einzelne Pflanzen wurden zu verschiedenen Terminen, mindestens 30 Pflanzen nach 20 Wochen Versuchsdauer zwischen 15. und 30. Oktober entnommen. Dazu wurden große Bodenziegel aus dem Boden gestochen, sodaß ausgewachsene EMC und FW nicht beschädigt wurden. Die Präparation erfolgte in natürlicher Lagerung, damit Unterschiede bezüglich der Auswurzelung in verschiedene Bodenschichten geprüft werden konnten.

Für jede einzelne Pflanze wurden folgende Merkmale bearbeitet:

Anzahl der neu gebildeten FW, Turgeszenz ihrer Spitzen sowie Art der Schäden,
Gesamtzahl von EMC, Art der Schäden sowie Anzahl von EMC mit dominanten Schäden, Anzahl verschiedener EMC Typen.

Als Typen werden EMC bezeichnet, welche in wesentlichen Merkmalen wie Verzweigung, Struktur und Farbe des

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Pilzmantels übereinstimmen (GÖBL 1967). Die Anzahl der Typen gibt Hinweise auf die Reichhaltigkeit der EMC-bildenden Pilzpopulation.

Für eine Bewertung der Funktionsfähigkeit der gesamten, neu gebildeten EMC und FW wird ihre Vitalität herangezogen (GÖBL 1989, 1993) und nach einer 6 teiligen Skala beschrieben, deren Kurzfassung im folgenden angeführt ist:

I gute Entwicklung und Regenerationsfähigkeit

II erkennbare, geringe Schäden

III deutliche Schäden

IV sehr deutliche Schäden, Regenerationsfähigkeit eingeschränkt

V sehr deutliche Schäden, Regenerationsfähigkeit gering

VI EMC und FW zur Gänze abgestorben

Am Standort Gleingraben war im Vergleich zu den Böhmerwaldstandorten die Anzahl vitaler, nicht durch Fraßschäden zerstörter FW gering.

Ungewöhnliche Veränderungen der Wuchsform von EMC wurden am Böhmerwaldstandort Bärenstein beobachtet. Der geringen Anzahl wegen, werden sie nicht

Region natürliche Waldgesellschaft	Versuchsstandort Meereshöhe in m	Grundgestein Bodenform	Belastung durch Schadstoffe	sichtbare Schäden im Kronenbereich, Naturverjüngung
Böhmerwald				
außeralpine Fichten-Tannen-Buchenwald, Buchen Komponente durch Bewirtschaftung verdrängt (MAYER 1971)	Bärenstein 980 Hinterwald 840 Sternstein 1050	Eisgarner- und Weinsberger Granit - Podsol	Säureeintrag	Kronenverlichtung - schlecht bis sehr schlecht
Gleingraben				
zwischenalpiner Fichten- Tannenwald (MAYER 1971)	Stadlmairwald 1270	Amphibolit, Glimmer schiefer - Braunerde, Podsol	gering	Vergilbung, Absterben der Bäume einzeln oder in Gruppen - sehr schlecht
Gaisberg				
hochmontaner Fichten-Tannen-Buchenwald	Gipfelbereich 1240 980	Dolomit Dachsteinkalk - Rendsina Terra fusca	Pb, Cd	mechanische Schäden durch Wind - schlecht
artenreicher Laubmischwald mit vorherrschend Buche, Buchenkomponente durch Bewirtschaftung zurückgedrängt	Basis 570 470	Gosau Konglomerat - bindiger Braunlehm	Säureeintrag	Kronenverlichtung - schlecht

Tab. 1: Lage und Beschreibung der Versuchsstandorte.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

quantitativ bearbeitet und nur in Tabelle 3 aufgelistet.

Für EMC und FW aller Gaisbergstandorte konnten Schadbilder wie sie für den Böhmerwald oder Gleingraben charakteristisch sind, nicht beobachtet werden. Die EMC der Standorte über Karbonatgestein im Gipfelbereich sind in der Regel gut ausgebildet (Abbildung 1) und auf FW konzentriert, welche aus dem obersten Teil des Wurzelballens ausgewachsen sind, unmittelbar unter der Bodenoberfläche liegen und dadurch äußeren Einflüssen verstärkt ausgesetzt sind.

Für die Standorte an der Basis waren eine auffallend geringe Anzahl von FW und EMC sowie verschiedene ungewöhnliche Ausbildungsformen charakteristisch (Tabelle 3). Es handelt sich um eine Reduktion von Pilzgewebe, das nur an Spitzen der Kurzwurzeln differenziert und damit zu holzähnlichen Wuchsformen führt und das häufige Vorkommen von Wurzelhaaren, welche in gesunden Waldökosystemen durch den Pilzmantel der EMC ersetzt sind (Abbildung 2).

Besonders auffallend ist der Ersatz von Feinwurzelspitzen durch einzelne, wenig vitale EMC.

Die Gesamtzahl der EMC Typen lag an den Böhmerwaldstandorten zwischen 3 und 9 und war im Vergleich zum Gleingrabenstandort mit 16 Typen niedrig. Für den Standort Sternstein kann mit der Gesamtzahl von 3 Typen eine deutliche Verarmung der EMC-bildenden Pilzpopulation, für die anderen Böhmerwaldstandorte eine gewisse Reduktion angenommen werden.

Ergebnisse und Diskussion

Die Neubildung von Feinwurzeln begann 14 Tage nach der Pflanzung, während eine Differenzierung von EMC erst später einsetzte. An den Standorten im Bereich der Gaisbergkuppe waren einzelne EMC nach 6 Wochen Versuchsdauer, an den Standorten im Bereich der Basis nach 8 Wochen und im Gleingraben nach 10 Wochen zu beobachten. Eine Schädigung der EMC war zu diesen

Versuchsstandort Meereshöhe in m	Anzahl vitale FW	Anzahl FMC		Anzahl EMC Typen		Vitalitäts-klasse
		gesamt	mit dominanten Schäden (in %)	pro Fläche	pro Pflanze	
Böhmerwald			Fraßschäden (Standardabw.)			
Bärenstein 980	43,3	1587	30,2 (43,7)	7	3	IV - V
Hinterwald 840	14,5	1517	40,8 (41,9)	9	5	IV - V
Sternstein 1050	20,3	1307	30,5 (20,3)	3	1-2	IV - V
Gleingraben						
Stadlmairwald 12,70	7,0	1395	42,0 (6,3)	16	6	V
Gaisberg			abnormale Wuchs-formen ("Zünd-holztyp")			
Gipfelbereich						
1240	32,5	1048	-	12	7	II-III
980	27	758	-	13	6	II-III
Basis						
570	6,0	110	62,8 (17,0)	6	4	V
470	7,2	134	15,5 (10,5)	7	4	V

Tab. 2: EMC und FW Besatz sowie EMC Schäden und EMC Typen bei Testpflanzen der Versuchsstandorte Böhmerwald, Gleingraben und Gaisberg (Mittelwerte für je 24 Pflanzen nach 20 Wochen Versuchsdauer).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

frühen Entnahmeterminen nicht oder in sehr geringen Maße vorhanden.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Ausbildung von EMC und FW von Testpflanzen der 8 Versuchsstandorte 20 Wochen nach der Pflanzung.

An den Standorten des Böhmerwaldes und des Gleingraben wurden starke Schäden, vor allem von EMC, festgestellt. Sie wurden eindeutig als Fraßschäden identifiziert. Es handelt sich um Löcher verschiedener Größe, die häufig das Rindengewebe oder den Zentralzylinder der verpilzten Wurzel erreichen. Sie sind durch scharfe Ränder charakterisiert und haben nichts mit altersbedingtem Zerfall zu tun. Aufgrund mikroskopischer Untersuchungen sind die Schäden im Bereich des Böhmerwaldes identisch mit jenen im Waldschadensgebiet Gleingraben. Sie sind einer stark überhöhten Populationsdichte von derzeit nicht bestimmten Schadorganismen zuzuordnen. Die Gesamtzahl der EMC nach einer Vegetationsperiode liegt zwischen 1307 und 1587 und damit sehr hoch. Eine Zählung der verletzten EMC Spitzen ergab eine Schädigungsrate zwischen 30 und 42 Prozent. Sie kann das Ausmaß der Schäden jedoch nur bedingt wiedergeben, da EMC Komplexe, bei denen

Schadbild	Auswirkungen	Versuchsstandort	Intensität	Dokumentation (u.a.)
Verminderung der Abundanz	Verminderung von Wasser- und Nährstoffaufnahme, verminderter Bodenschutz	Sternstein Gaisberg/ Basis	++++ ++++	MCMINN (1963) MEYER (1984) MCQUATTIE et al. (1982)
Verminderung der Typenvielfalt	Vermindertes Mykorrhizierungs-potential der Böden	Sternstein Bärenstein Hinterwald Gaisberg/Basis	++++ ++ ++ ++++	MEYER (1985) FELLNER (1989) KOVALSKI (1989) JANSSEN (1991) GÖBL (1993)
Veränderung der Wuchsform durch:	Verminderung von Wasser- und Nährstoffaufnahme, Störungen im Wuchsstoffhaushalt			
Deformation als Folge von Fraßschäden durch Mikroorganismen	Verlust der Schutzfunktion gegen pathogene Organismen	Böhmerwald Gleingraben	++++ ++++	ZACK (1984) GÖBL (1989, 1993)
Mykorrhizabildung an apikalen Enden von Feinwurzeln und nach Verletzung	Verminderte Feinwurzelbildung, Vermindertes Längenwachstum	Gaisberg/Basis	+++	
Perlenschnur- oder zündholzartige Verformung, verdünnte Spitzen	Instabilität der Symbiosepartner, verminderte Infektionskraft bestimmter Pilze	Bärenstein Gaisberg/Basis Gaisberg/Basis	+ +++ ++	BLASCHKE (1986) JAMES et al. (1978) HASELWANDTER et al. (1988)
Wechsel von Pilzpartnern und Wuchsform an Einzelmykorrhizen	Instabilität der Symbiosepartner, verminderte Konkurrenzkraft bestimmter Pilze	Bärenstein Gaisberg/Basis	++ ++	MARKS et al. (1967) PÖDER (1991) GÖBL (1993)

+ gering, ++ mäßig, +++ stark, ++++ sehr stark

Tab. 3: Abundanz-, Form- und Strukturveränderungen von EMC im Zusammenhang mit Schadstoffeinträgen und geringer Abundanz an diesen Standorten weist auf eine Instabilität des Ökosystems hin.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

einzelne Spitzen verletzt sind, kein geschlossenes System mehr darstellen. Sie sind weder als funktionsfähiges Organ für die Wasser- und Nährstoffaufnahme noch als Barriere gegenüber pathogenen Pilzen anzusehen.

Die hohe Standardabweichung weist auf eine sehr unregelmäßige Verteilung der Schäden auf den Böhmerwaldstandorten hin während die vergleichsweise niedrige Standardabweichung für den Gleingrabenstandort eine sehr regelmäßige Verteilung aufzeigt.

Die Vitalitätsbewertung ergibt sich aus der Beurteilung der einzelnen Schadensmerkmale für jede Einzelpflanze eines Standortes. Sie zeigt für die Standorte des Böhmerwaldes und des Gleingraben vergleichbar schlechte Werte. Es besteht eine gute Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen für EMC und FW in Beständen (GÖBL 1989, 1990, 1993).

Die schlechte Vitalität der EMC und FW der Gaisbergstandorte im Bereich der Basis entspricht ihrem ungünstigen Gesundheitszustand. Die gute Vitalitätsbewertung von EMC und FW im Gipfelbereich entspricht einer geringen Schädigung. Durch junge Pflanzen kann allerdings die Sensibilität des Standortes infolge Erosionsgefährdung nicht so gut gezeigt werden, wie dies im Bestand der Fall ist. Für EMC und FW alter Bäume kann eine großflächige Konzentration unmittelbar unter der Bodenoberfläche deutlicher dargestellt werden.

Zusammenfassung

In den Waldschadensgebieten Böhmerwald, Gleingraben und am Gaisberg wurden an 8 Standorten Versuche mit nicht mykorrhizierten Testpflanzen (1-jährige Fichtensämlinge, HIKO Anzuchtsystem) durchgeführt. Nach 20 Wochen wurden für Pflanzen an Standorten des Böhmerwaldes und Gleingraben ein EMC Besatz zwischen 1307 und 1587 festgestellt. Die Schädigungsrate betrug zwischen 30 und 42 Prozent. Die Schäden wurden als Fraßschäden identifiziert und waren trotz großräumiger Distanz der Waldschadensgebiete identisch.

Am Gaisberg ergaben sich große Unterschiede zwischen der Standortsgruppe über Karbonatgestein und der Standortsgruppe über Gosaukonglomerat. Schäden von EMC und FW der letztgenannten Standortsgruppe sind weniger deutlich zu charakterisieren, da es sich um Veränderungen der Wuchsform und mehr oder weniger auffällige Reduktionen der Pilzkomponenten handelt. Ungewöhnliche Wuchsformen in Verbindung mit einer auffallenden Reduktion von FW können als Indikator für Instabilität eines Waldökosystems angesehen werden.

Die Vitalitätsbewertung und die Anzahl von EMC Typen entsprechen den Schadbildern.

Die Versuche haben ein Ausmaß von Schäden im Wurzelbereich aufgezeigt, das weder durch Analysen von Böden oder oberirdischen Pflanzenorganen deutlich gemacht werden kann. Sie haben die schlechte Qualität der meisten Standorte dieser Waldschadensgebiete aufgezeigt und begründen auch eine schlechte Prognose für die Entwicklung von Naturverjüngung und für aufgeforstete Pflanzen und zeigen die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen auf.

Herrn MAYERHOFER (LIECHTENSTEIN HILLESHÖG Forstpflanzen Ges. M. b. H.) möchte ich für die Anzucht und Bereitstellung des Versuchsmaterials danken.

Literatur

BAAR J. & F.W. DEVRIES (1995): Effects of manipulation of litter and humus layers on ectomycorrhizal colonization potential in Scots pine stands of different age. — Mycorrhiza **5**: 267-272.

BERGEMANN S. (1955): Die Mykorrhizaausbildung einiger Koniferen - Arten in verschiedenen Böden. — Zeitschrift f. Weltforstwirtschaft **18** (5/6): 184-202.

BJÖRKMAN E. (1942): Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. — Symb. Bot. Ups. VI, 2.

BLASCHKE H. (1986): Einfluß von saurer Beregnung und Kalkung auf die Biomasse und Mykorrhizierung der Feinwurzeln von Fichten. — Forstw.-Cbl. **105**: 324-329.

BLASCHKE H. (1990): Mycorrhizal populations and fine root development on Norway spruce exposed to controlled doses of gaseous pollutants and simulated acidic rain treatments. — Environmental Pollution **68**: 409-418.

FELLNER R. (1989): Mykorrhiza-forming fungi as bioindicators of air pollution. — Ecological and applied aspects of Ec-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

to- and Endomycorrhizal associations **28**: 115-120.

GEHRMANN J. & B. ULRICH (1983): Der Einfluß des sauren Niederschlages auf die Naturverjüngung der Buche. — Mitt. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Westfalen: 32-36.

GÖBL F. (1967): Mykorrhizauntersuchungen in subalpinen Wäldern. — Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien **75**: 335-356.

GÖBL F. (1980): Mykorrhiza-Untersuchungen in einer Fichtenaufforstung im Sellraintal (Tirol). — Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien **129**: 41-50.

GÖBL F. (1989): Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen im Waldschadensgebiet Gleingraben und Gleinalpe (Stmk.). — Mitt. BVA **163/I**: 17-220.

GÖBL F. (1990): Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen im Waldschadensgebiet Gleingraben und Gleinalpe (Stmk.). — Mitt. BVA **163/III**: 5-38.

GÖBL F. (1993): Mykorrhiza- und Feinwurzeluntersuchungen in Fichtenbeständen des Böhmerwaldes. — ÖFZ **2**/1993: 35-38.

HASELWANDTER K., BERREK M., SCHULER R. & R. HAUSER (1988): Auswirkungen von Immissionen auf die Ektomykorrhiza und die Rhizospäre von Fichtenbeständen auf verschiedenen Bodentypen. — Bundesministerium f. Wissenschaft u. Forschung. Endbericht.

HUSTED L. & D.P. LAVENDER (1989): Effect of temperature upon root growth and mycorrhizal formation of white spruce (*Picea glauca* (MOENCH) VOSS) seedlings grown in controlled environment. — Forest Tree Physiology, E. DREYER et al. eds., 750-753.

JAMES H., COURT M.N., MACLEOD D.A. & J.W. PARSONS (1978): Relationship between growth of Sitka spruce (*Picea sitchensis*), soil factors and mycorrhizal activity on basaltic soils in Western Scotland. — Forestry (Oxf.) **51**: 105-120.

JANSSEN A.E. (1991): The mycorrhizal status of Douglas fir in the Netherlands in relation with stand age, regional factors, atmospheric pollutants and tree vitality. — Agriculture, Ecosystems and Environment **35**: 191-208.

KOWALSKI S., WOJEWODA C., BARTNIK C. & A. RUPIK (1989): Mycorrhizal species composition and infection patterns in forest plantations exposed to different levels of industrial pollution. — Agriculture, Ecosystems and Environment **28**: 249-255.

MARKS G.C. & R.C. FOSTER (1967): Succesion of mycorrhizal associations on individual roots of radiata pine. — Aust. Forest. **31**: 193-201.

MCMINN R.G. (1963): Mykorrhiza von *Pinus manticola* und die „pole blight"-Krankheit. — Mykorrhiza. Internationales Mykorrhizasymposium, Weimar 1960: 257-260.

MCQUATTIE C.J. & G.A. SCHIER(1992): Effect of ozone and aluminium of pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings = anatomy of mycorrhiza. — Can. J. For. Res. **22**: 1901-1916.

MAYER H., ECKHART G., NATHER J., RACHOY W. & K. ZUKRIGL (1971): Die Waldgebiete und Wuchsbezirke Österreichs. — CGFW 88.

MEYER F.H. (1962): Die Buchen- und Fichtenmykorrhiza in verschiedenen Bodentypen, ihre Beeinflussung durch Mineraldünger sowie für die Mykorrhizabildung wichtige Folgen. — Mitt. Bundesforsch. Anstalt Forst- und Holzwirt. Reinbeck **54**: 1-73.

MEYER F.H. (1985): Einfluß des Stickstoff-Faktors auf den Mykorrhizabesatz von Fichtensämlingen im Humus einer Waldschadensfläche. — AFZ **40**: 208-219.

PERRSON H. (1978): Root dynamics in a young Scots pine stand in Central Sweden. — Oikos **30**: 508-519.

PÖDER R., PERNFUSS B. & M. SIGL (1991): Mykorrhiza von Waldbäumen. — Bericht „Waldökosystemforschung-Waldbodensanierung". Vorarlberger Umweltschutzanstalt, Bregenz, 183-197.

RABL K. (1993): Die Naturverjüngung aus dem Container. — ÖFZ **2**: 33-34.

RAMSAUER R. (1987): Revolution der Aufforstung durch HI-KO-Containerpflanzen. — ÖFZ **3**: 24-25.

SCHAFER S.R., GRAND L.F., BRUCK R.I. & A.S. HEAGLE (1985): Formation of ectomycorrhizae on *Pinus taeda* seedlings exposed to simulated acid rain. — Can. J. For. Res. **15**: 66-71.

STROO H.F. & M. ALEXANDER (1985): Effect of simulated acid rain on mycorrhizal infection of *Pinus strobus* L.. — Water, Air, Soil Pollut. **25**: 107-114.

WEISS M. & R. AGERER (1986): Reaktion des Wurzelsystems von *Picea abies* (L.) KARST. auf Mineralstoffernährung und auf Belastung des Sprosses mit Ozon und saurem Nebel. — Forstw. Cbl. **105**: 230-233.

ZACK B. (1964): Role of mycorrhizae in root disease. — Ann. Rev. Phytopathol. **2**: 377-392.

Anschrift des Verfassers:
HR Dr. Friederike GÖBL
Schneeburggasse 43 a
A-6020 Innsbruck
AUSTRIA